近20 a新疆升温融雪(冰)型洪水频次时空变化及大气环流型分析

张俊兰[1]， 罗 继[2]， 王荣梅[3]

（1. 新疆维吾尔自治区气象台，新疆 乌鲁木齐 830002；2. 新疆阿克苏地区气象局，新疆 阿克苏 843000；
3. 新疆维吾尔自治区人工影响天气办公室，新疆 乌鲁木齐 830002）

摘 要：利用2000—2019年新疆升温融雪(冰)型洪水灾情资料，分析了近20 a融雪(冰)型洪水频次的时空分布和地域差异性，结果表明：北疆融雪型洪水频次占全疆的75%，主汛期在春季，集中出现在北疆西部北部区域，伊犁哈萨克自治州最多(新源县最多)；南疆主汛期在夏季，融雪(冰)型洪水主要出现于昆仑山北坡，3月和7月是北疆融雪和南疆融雪(冰)型洪水的高发月份。20 a来南北疆春季融雪型洪水频次均呈增多趋势，后10 a融雪(冰)型洪水频次较前10 a均增多，增幅30%左右。阐明了新疆融雪(冰)型洪水的天气学分型，分析了伊朗副高东扩型、西太副高西伸型和新疆脊发展型三类大气环流形势，给出新疆升温融雪(冰)型洪水的高低空环流形势及天气系统配置。得出融雪(冰)型洪水发生前，100 hPa南亚高压呈单体型，100～700 hPa新疆受深厚高压脊控制，高空0 ℃层高度明显偏高，前期山区降水明显偏多。北疆需重点防范春季伊犁州的中低山体季节融雪型洪水，南疆则应密切关注夏季高山冰湖溃决型和积雪、冰川融水型两类融雪(冰)型洪水。

关键词：融雪(冰)型洪水；大气环流型；时空分布；新疆

新疆是我国积雪研究的重要区域，山区积雪是天然的“固体水库”，积雪作为淡水资源储备，是河水径流的主要来源，新疆虽地处干旱区，但区域内约有320条河流和100个湖泊分布于天山南北坡及昆仑山北坡[1-2]，近年来北疆最大积雪深度呈不断上升趋势[3-4]，对缓解依赖于山区径流而发展的中下游绿洲生态系统的水资源短缺问题具有重要作用[5]。积雪在一定条件下给人民生活、经济建设和社会发展带来巨大影响，新疆城市、居民点、公路等主要分布在河谷、山麓及冲积扇等地带，每年均有不同程度的融雪洪灾发生。近20 a来新疆融雪(冰)型洪水占新疆洪水的39%[2]，据中国气象局“气象灾情管理系统”数据，2000—2019年新疆由于升温形成的融雪(冰)型洪水共造成25人死亡，被困人员达千余人之多，融雪(冰)型洪水造成的滑坡、泥石流等衍生地质灾害也时有发生，如2014年7月4日博州精河县融雪(冰)型洪水造成八家户农场夏草场那仁果勒山体滑坡，滑坡体长约2700 m、宽约700 m，6人死亡，1500余只小畜(羊)、78头(匹)大畜死亡，草场损毁面积300 hm^2，经济损失1144×10^4元；2014年3月22日，伊犁河谷的融雪型洪水造成700余人受灾。南疆也常有融雪(冰)型洪灾发生，2015年7月中下旬，南疆42站气温突破历史极大值，阿克苏、巴州多地出现融雪(冰)型洪灾，7月27日23:00库玛拉克河最大洪峰流量2090 $m^3\cdot s^{-1}$，为历史第三大洪峰，阿克苏市库玛拉克河东岸干渠延伸段淤积长度近10 km，多浪干渠被冲刷27 km，泥沙淤积49 km，阿克苏市一杆旗乡5大队农田被淹33 hm^2。温宿县库玛拉克河达汗黄羊滩4500 m处防洪堤溃堤约200 m，巴州且末县车尔臣河水流量速度200 $m^3\cdot s^{-1}$，致使车尔臣河堤坝多处损毁。

针对融雪(冰)型洪水，许多学者针对伊犁州、阿勒泰地区、天山北坡、喀什地区、阿克苏地区等地融雪型洪水研究取得许多成果[6-12]，得出融雪(冰)

收稿日期：2020-04-13； **修订日期：**2020-06-10
基金项目：国家自然科学基金重点项目(42030612)；第二次青藏高原综合科学考察研究项目(2019QZKK0102)；国家自然科学基金(41975146)；国家重点研发计划(2019YFC1510501)
作者简介：张俊兰(1967-)，女，研究员级高工，主要从事天气预报和应用气象研究. E-mail: zjl_0997@sina.com

型洪水与降水、蒸发、积雪和气温等气象因子密切相关,还与当地地貌条件及冷期降雪有关。2001—2012年新疆融雪型洪水的时空分布特征表现为融雪型洪水主要出现在春夏季,北疆3月、南疆7月发生较多[13];在融雪成因方面,研究指出阿克苏地区库玛拉克河7月中旬至8月中旬洪水的主要成因是高温融雪[14]。新疆灾害性天气如暴雨、大风、高温等均是在一定的大气环流形势下出现的,与高空环流形势有密切联系,融雪型洪水也不例外,1999年夏季新疆高空高压脊发展强盛,昆仑山高空升温明显,0 ℃层高度迅速升高并持续数天,致使高山冰雪融化,昆仑山北坡诸河发生融雪(冰)大洪水,高空温度居高不下是引发此次融雪型洪水的直接原因,环流特征分析是做好引发融雪(冰)型洪水分析及预报的基础[14],在环流形势分析中,南亚高压中心位置北上,使中纬度高度场上升,夏季中纬度30°N ~ 50°N位势高度明显上升,有利于新疆高温日数增多[15],应用EOS/MODIS卫星遥感监测手段,首次遥感监测到准噶尔盆地西北部的冬季融雪(冰)型洪水[16]。

参照章曙明等[17]和沈永平等[18]对融雪型洪水的定义,将"由于高山区和高空出现升温天气过程而引起的河流源区积雪迅速融化,地表径流量增多,从而引发融雪(冰)型洪水,对农业、牧业、设施农业以及群众生活均会造成不利影响,并发生不同程度灾情"的洪水灾害定义为升温融雪型洪水,并依据董玉文等[2]的研究结论,将新疆融雪(冰)型洪水类型划分为季节积雪融水型(融雪型)和高山冰雪融水型(融冰型)两类洪水,北疆山体不高、没有冰川和永久积雪,主要为季节融雪型洪水;南疆有昆仑山、天山、帕米尔等高山冰川和永久积雪区域,根据成因分为冰湖溃决型洪水和积雪、冰川融水型洪水,春季常出现融雪型洪水,盛夏为融冰型洪水。在上述研究基础上,将新疆融雪(冰)型洪水序列自2012年延长至2019年,分析新疆近20 a的融雪(冰)型洪水的发生频次,得出前10 a和后10 a融雪(冰)型洪水发生频次时空分布变化特征,从天气学角度,揭示融雪(冰)型洪水发生前后大气环流形势及环流型特征,归纳高空0 ℃层高度演变规律,从而进一步认清新疆融雪型洪水气候特征以及天气学分析和预报重点,有利于提高融雪(冰)型洪水预报预警能力,对防洪救灾、防汛抢险和确保农牧民生命财产安全具有重要意义。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

新疆地域广阔,地形复杂,北部为阿尔泰山,南部为昆仑山系,天山山脉横亘中部,是新疆最有代表性的山脉,把新疆分割为南、北两大部分,天山以南为南疆,天山以北为北疆,北疆通常指除吐鲁番地区、哈密地区以外的天山以北地区,阿尔泰山和天山之间为准噶尔盆地,南疆是指天山以南和昆仑山以北的区域,也称塔里木盆地,有闻名遐迩的塔克拉玛干沙漠,地理特征为"三山夹两盆"地貌(图1)。新疆是我国北方升温融雪(冰)型洪水灾害发生的重要区域,由于高山积雪和升温的共同作用,融雪(冰)型洪水发生频率较高,是当地影响交通出行和农牧业生产的重要气象灾害之一。

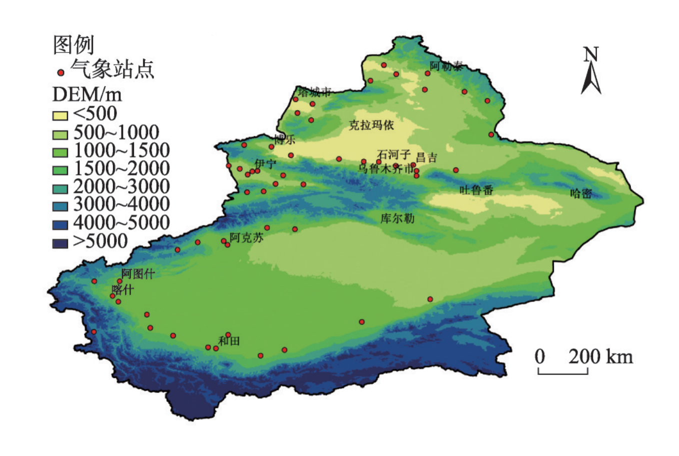


图1 研究区示意图

Fig. 1 Location map of study area

1.2 数据来源

新疆融雪(冰)型洪水灾情数据参考阿不力米提江·阿布力克木等[13]的研究数据,2000—2019年融雪(冰)型洪水灾情数据从中国气象局气象灾情管理系统中获取,并得出新疆近20 a的升温融雪(冰)型洪水灾情及频次,进而分析近20 a新疆升温融雪(冰)型洪水频次的年、季、月时间序列和空间分布变化特征,其中,季节划分春季为3—5月、夏季为6—8月、秋季为9—11月、冬季为12月至次年2月。大气环流形势场数据采用L波段雷达探测的高空数据,从中国气象信息综合分析处理系统中获取,主要包括100 hPa、500 hPa、700 hPa、850 hPa等压面上位势高度场和850 hPa等压面温度场实时资料,本

文通过分析新疆典型融雪(冰)型洪水过程中不同高度等压面位势高度场环流形势和低层850 hPa温度场分布,揭示融雪(冰)型洪水的大气环流分型。

2 结果与分析

2.1 融雪(冰)型洪水变化特征

2.1.1 融雪(冰)型洪水时间变化

(1) 年变化

2000—2019年全疆共出现215次融雪(冰)型洪水,其中北疆163次、南疆52次,分别占全疆的75.8%、24.2%,全疆、北疆、南疆融雪(冰)型洪水年平均出现频次分别为11次·a^{-1}、8次·a^{-1}、3次·a^{-1},北疆融雪洪水频次明显多于南疆,且年际变化幅度更大。北疆和全疆融雪(冰)型洪水频次变化趋势基本一致,2004—2012年洪水发生频次均呈增多趋势,其中,2010年最多(北疆43次、全疆47次),2005年次多(北疆20次、全疆32次),2007年最少,全疆2次均在北疆;而南疆2005年最多(12次)、2011年和2017年次多(均为5次),其中,2003年、2004年、

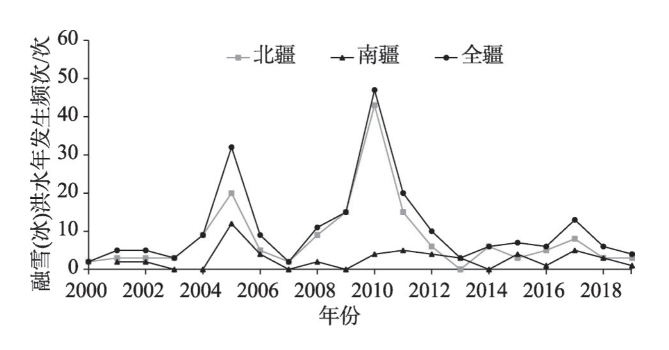


图2 2000—2019年新疆融雪(冰)型洪水年发生频次时序变化

Fig. 2 The annual frequency and time series of snowmelt (ice) floods in Xinjiang from 2000 to 2019

2009年和2014年未出现融雪(冰)型洪水(图2)。

(2) 月变化分析

新疆融雪(冰)型洪水频次月份分布及前后10 a对比变化(图3),全疆融雪(冰)型洪水集中在3—7月,共出现183次,占全年的85.1%。从逐月变化来看,3月最多(84次,占比39.1%,年均4.2次·a^{-1}),4月次之(31次,年均1.5次·a^{-1}),7月位居第三(28次,年均1.4次·a^{-1})。5月和6月出现21次和19次(年均1次)。冬季1月最多(14次,年均0.7次·a^{-1}),12月和次年2月出现7次和3次,年均不到1次(图3a)。

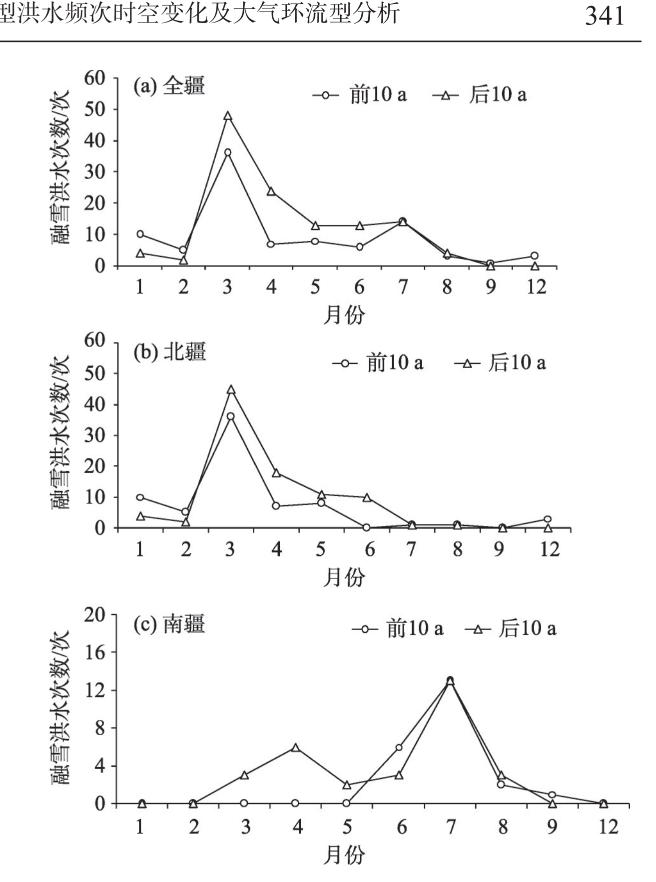


图3 2000—2019年融雪(冰)型洪水年频次时序变化

Fig. 3 The annual frequency and time series of snowmelt (ice) floods in Xinjiang from 2000 to 2019

对比前10 a(2000—2009年)和后10 a(2010—2019年)融雪(冰)型洪水的频次变化,前10 a和后10 a分别出现93次和122次,后10 a较前10 a增加31.1%,主要出现在3—7月,其中4—6月增加1.1倍,而冬季12—2月减少1.2倍。

北疆融雪型洪水主要集中在上半年1—6月(共156次,占95.7%),下半年7—12月较少(仅7次,占4.3%);春季3—5月较多,共出现125次、占76.7%。从逐月变化看(图3b),3月最多(81次,占49.7%,年均4次·a^{-1}),4月次之(25次,年均1.3次·a^{-1}),5月位居第三(19次,年均1次·a^{-1});夏季6月、7月和8月分别出现10次、2次和2次,年均不到1次;冬季1月、2月和12月分别出现14次、7次和3次。北疆前10 a和后10 a融雪型洪水频次的变化趋势与全疆变化相似,后10 a(92次)较前10 a(71次)增多29.6%,后10 a中3—6月明显增多,其中4月和6月增幅约1.1倍,冬季12至次年2月与全疆变化一致,减少1.2倍。

南疆融雪(冰)型洪水出现在4—8月,共出现48次,占92.3%,其中夏季占比较高,6—8月共出现40

次,占76.9%。从逐月变化看(图3c),7月最多(共26次,占50.0%,年均1.3次·a^{-1}),6月次多(9次),4月位居第三(6次),8月、3月和5月分别出现5次、3次和2次,年均不到1次,冬季12月至次年2月未出现过融雪(冰)型洪水。对比前10 a和后10 a融雪(冰)型洪水频次变化,与北疆存在一定差异,后10 a(30次)较前10 a(22次)增多36.4%,3—5月明显增多,6月减少,7月较稳定。

南北疆融雪(冰)型洪水频次的时间变化存在显著差异,主要表现为北疆集中在春季,为融雪型洪水,南疆集中在夏季,为融雪(冰)型洪水;北疆3月最多、南疆7月最多(均占全年50.0%左右),与阿不力米提江·阿布力克木等[13]的研究结论一致。近20 a来融雪(冰)型洪水频次中,南北疆后10 a均较前10 a增多约30%,春季3—5月均增多;冬季12—2月仅北疆有融雪型洪水,后10 a较前10 a明显较少。

2.1.2 融雪(冰)型洪水频次空间分布

(1) 年分布

从2000—2019年北疆和南疆融雪(冰)型洪水频次与全疆占比表可看出(表1),融雪(冰)型洪水的年频次中,北疆占78.1%,南疆占21.9%,北疆明显多于南疆,是南疆的3倍之多,且集中在西部北部区域(占全疆69.3%)。分析北疆、南疆的融雪(冰)型洪水频次占比表(表2),北疆融雪型洪水的年频次各地州中伊犁州最多,占北疆总频次的44.8%,塔城地区和阿勒泰地区位居第二和第三位,均占20.0%左右;南疆的融雪(冰)型洪水频次中,各地州分布均匀,克州最多(占26.9%),和田第二(占25.0%),喀什和阿克苏位居第三(均占21.2%),巴州最少,占5.8%。

从图4a中可以看出全疆县域融雪(冰)型洪水的年分布格局,北疆县域融雪洪水多于南疆,较多的县域出现在伊犁州、塔城地区和阿勒泰地区,其中,新源县最多(13次),其次是察布查尔县和额敏县(均10次),伊宁县、额敏县、青河县均为9次;南疆县域分布中,克州阿克陶县最多(8次),和田地区和田市次之(5次),喀什地区塔什库尔干县位居第三(4次)。

(2) 季分布

从全疆融雪(冰)型洪水春、夏、冬三季的空间分布图中可知(图4b~4d),北疆融雪洪水中,春季伊犁州最多(51次)、塔城地区次之(30次),县域主要集中在伊犁州和塔城地区的新源、尼勒克、额敏和裕民县(8~10次)(图4b);夏季融雪洪水分布比较均衡(图4c);冬季融雪(冰)型洪水集中出现在伊犁州、博州,伊犁州最多,共20次,占北疆总频次的

表1 2000—2019年北疆和南疆融雪(冰)型洪水频次与全疆占比

Tab. 1 The frequency and proportion of total Xinjiang of snowmelt(ice) floods from 2000 to 2019 /%

		年	春	夏	冬	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	12月
北疆	西部和北部	69.3	82.4	19.3	100.0	100.0	100.0	82.1	77.4	90.5	47.9	4.0	14.3	0.0	100.0
	天山北坡	8.8	9.6	6.7	0.0	0.0	0.0	14.3	3.2	0.0	4.5	3.2	14.3	0.0	0.0
南疆		21.9	8.1	74.1	0.0	0.0	0.0	3.6	19.4	9.5	47.6	92.9	71.4	100.0	0.0

表2 2000—2019年北疆和南疆的融雪(冰)型洪水频次占比

Tab. 2 The proportion of snowmelt (ice) floods in northern and southern Xinjiang from 2000 to 2019 /%

		年	春	夏	冬	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	12月
北疆	伊犁州	44.8	40.8	14.3	83.3	78.6	85.7	40.7	40.0	42.1	20.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	博州	7.4	6.4	7.1	12.5	14.3	14.3	8.6	4.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0	0.0
	塔城	20.2	24.0	14.3	4.2	7.1	0.0	29.6	16.0	10.5	10.0	0.0	50.0	0.0	0.0
	阿勒泰	19.0	18.4	57.1	0.0	0.0	0.0	6.2	36.0	47.4	70.0	50.0	0.0	0.0	0.0
	昌吉	5.5	6.4	7.1	0.0	0.0	0.0	9.9	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0
	乌鲁木齐	3.1	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
南疆	和田	25.0	18.2	27.5	0.0	0.0	0.0	0.0	16.7	50.0	33.3	26.9	20.0	0.0	0.0
	喀什	21.2	9.1	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	55.6	15.4	20.0	0.0	0.0
	克州	26.9	45.5	20.0	0.0	0.0	0.0	66.7	50.0	0.0	11.1	23.1	20.0	100.0	0.0
	阿克苏	21.2	18.2	22.5	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3	0.0	0.0	26.9	40.0	0.0	0.0
	巴州	5.8	9.1	5.0	0.0	0.0	0.0	33.3	0.0	0.0	0.0	7.7	0.0	0.0	0.0

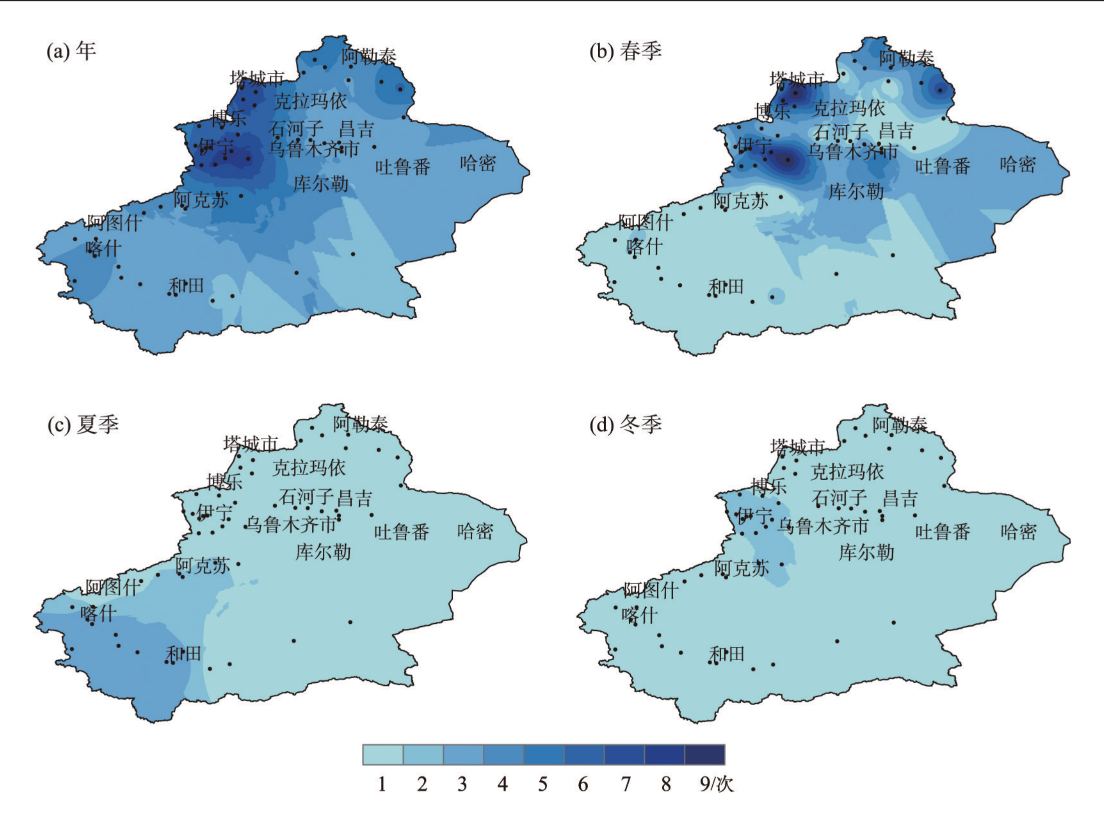


图4　2000—2019年新疆融雪(冰)型洪水频次的年和季空间分布

Fig. 4　Annual and seasonal spatial distribution of the frequency of snowmelt(ice) floods in Xinjiang from 2000 to 2019

83.3%,主要分布于察布查尔县(7次)、特克斯县(4次)(图4d)。北疆融雪洪水在春、夏、冬三季的分布有显著差异,春季主要集中在伊犁州和塔城地区,且分布在伊犁州北部、东部和塔城地区西部,夏季出现在阿勒泰地区(东西部均有),冬季集中分布于伊犁州西部和南部区域;

南疆融雪(冰)型洪水中,春季克州最多(5次),和田地区、阿克苏地区次之(均2次),县域主要分布在克州的阿克陶、阿合奇及和田地区的民丰3县(图4b);夏季和田地区最多(11次),喀什地区次之(10次),阿克苏地区位居第三(9次),县域主要分布在克州、和田地区的阿克陶县(6次)、和田市(5次)(图4c)。南疆春季融雪洪水主要出现在帕米尔高原东部,夏季大多集中在昆仑山北部。实际防灾减灾中,可参照以上融雪(冰)型洪水空间分布特点,不同季节针对重点区域规划和防御。

(3) 月分布

冬季12月至次年2月仅北疆有融雪型洪水,均出现在西部和北部区域,春季3—5月集中于北疆西部和北部(占82.4%),3月尤为明显;7—8月主要在南疆,7月最多,占全疆的92.9%(表1)。

北疆融雪洪水的月分布中,3月最多(新源、裕民和额敏县均7次),4月次之(尼勒克、新源、巩留县均2次),5月位居第三(伊宁县和伊宁市分别为3次和2次);冬季1月察布查尔县最多(5次),2月和12月次之(察布查尔和特克斯县均2次);南疆融雪(冰)型洪水7月最多,克州阿克陶县最多(5次),其次是6月,喀什地区莎车和叶城县较多(各2次),其他月份较少(图5)。

可以看出,南北疆融雪(冰)型洪水时空分布存在明显差异,北疆为融雪型洪水,集中出现在春季,分布于伊犁州、塔城地区、阿勒泰地区,伊犁州新源县最多;南疆融雪型和融冰型洪水都有,主要出现在夏季,多发于昆仑山北坡,3月和7月是北疆和南疆融雪(冰)型洪水的高发月份。毛炜峄等[19]研究指出,1961—2017年东帕米尔高原7月极端升温过程频数显著增多,造成东帕米尔高原区域融雪(冰)型洪水及其衍生地质灾害风险加剧,在实际防灾减灾中,可参照全疆融雪(冰)型洪水不同季节和月份的空间分布特征,进而防范南北疆重点区域融雪(冰)型洪水的发生。

2.2　大气环流分型

升温天气的大气环流形势决定了融雪(冰)型洪水发生的强度、落区和时间等,分析升温天气的

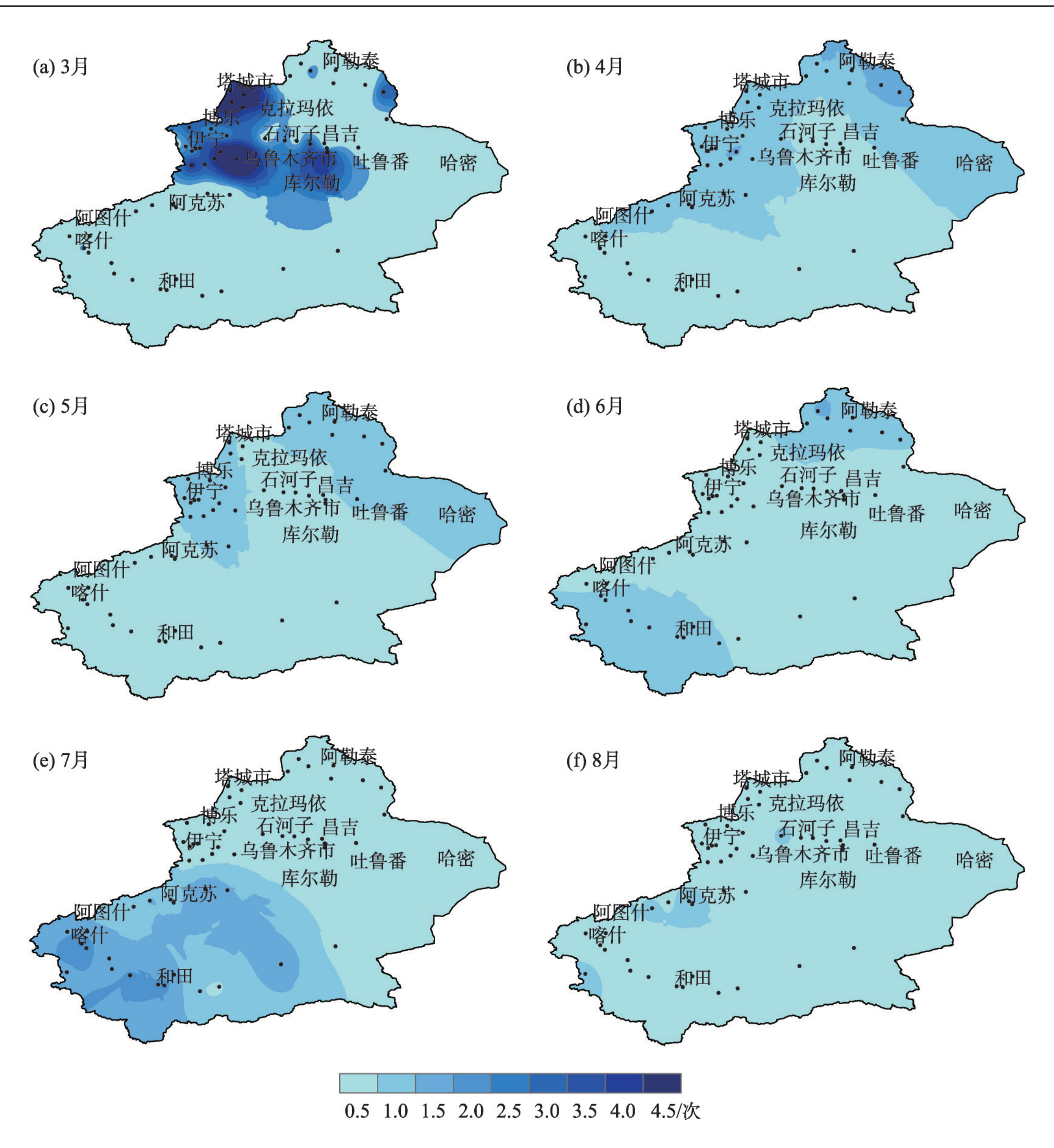


图5 2000—2019年新疆融雪(冰)型洪水频次的月空间分布

Fig. 5 Monthly spatial distribution map of snowmelt(ice) flood frequency in Xinjiang from 2000 to 2019

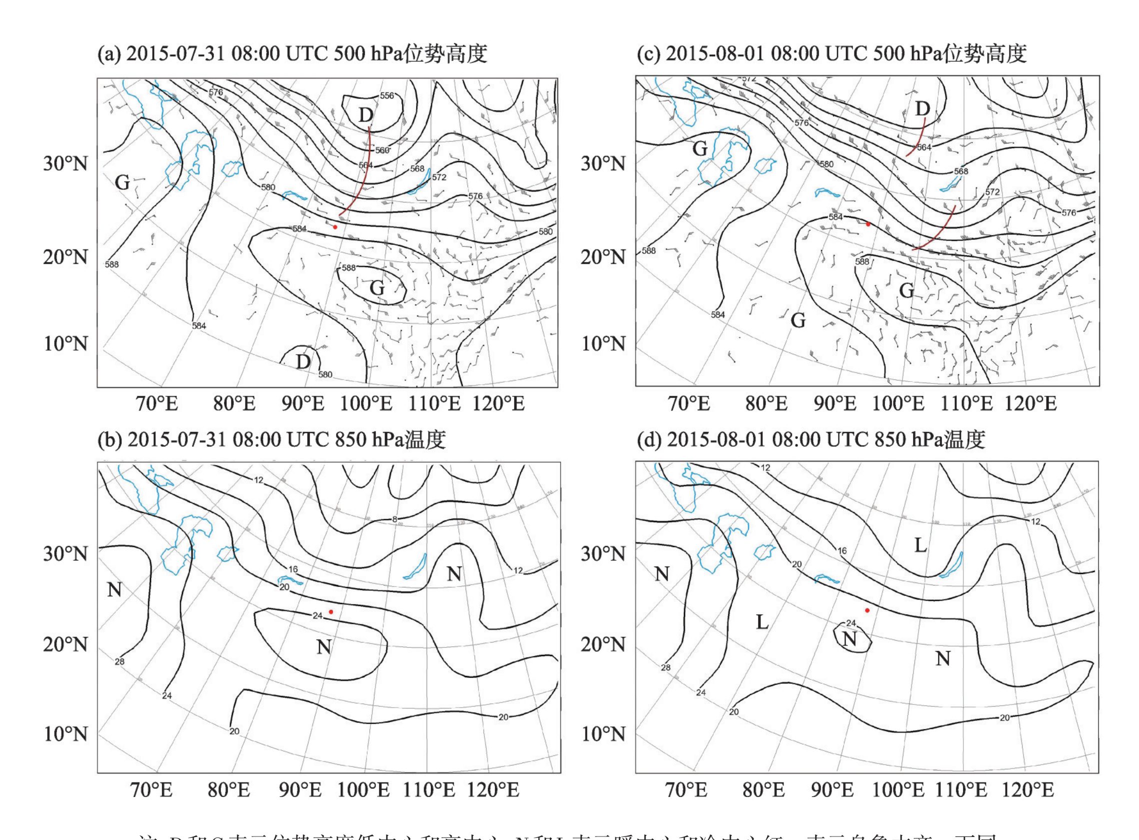
大气环流形势类型可掌握融雪型洪水的环流分型。升温发生时新疆上空受高压脊控制,中低层持续升温导致融雪(冰)型洪水发生,在高空引导气流下,伊朗副热带高压(简称伊朗副高)、西太平洋副热带高压(简称西太副高)和新疆南部高压脊均演变为控制新疆的高压脊,100 hPa和500 hPa南亚高压和副热带高压的形态、中心位置、强度变化与新疆高温过程关系密切,并结合了毛炜峄等[20]对2015年新疆夏季极端高温过程及其影响的研究结果;从高压脊位置和移动路径将融雪(冰)型洪水的大气环流形势分为伊朗副高东扩型、西太副高西伸型和新疆脊发展型3类环流型。在全疆215次融雪(冰)型洪水大气环流类型中,伊朗副高东扩型出现115次,占53.5%;西太副高西伸型67次,占31.2%;新疆脊发展型33次,占15.3%,伊朗副高东扩型是新疆融雪(冰)型洪水的主要环流型。

2.2.1 西太副高西伸型 此型以南疆夏季为例,高温时,100 hPa南亚高压中心位于新疆上空,呈单体型。高温前,伊朗高原-新疆-东海一带上空为南亚高压带,3个高压中心分别位于伊朗高原、青藏高原西部和东海附近,伊朗高压减弱,高压中心消失,东海附近高压逐渐西移,与东移北上的青藏高原西部高压合并,形成较强新疆高压,中心可达1684~1688 dagpm。500 hPa上,中亚通常为低槽或低涡区,新疆至贝加尔湖受高压脊控制,西太副高发展并西伸北抬,势力较旺盛,与新疆至贝加尔湖高压

脊连通(脊线位于90°E～110°E),随中亚低值系统东移至贝加尔湖附近,西太副高西伸过程中形成东西向带状高压坝控制新疆区域。夏季580 dagpm通常会覆盖北疆,有时会伸至萨彦岭一带,南疆均被584 dagpm线控制,700 hPa新疆上空也出现高压脊。2015年7月末南疆出现明显融雪(冰)型洪水,584 dagpm线西界线和北界线抵达75°E,45°N附近(图6a,6c),低层850 hPa温度可升至28 ℃以上,出现了28 ℃以上高温中心(图6b,6d),受此次持续高温影响,昆仑山北坡及天山南坡相继出现融雪(冰)型洪水,叶尔羌河、玉龙喀什河和喀拉喀什河超警戒流量持续半月以上,玉龙喀什河持续22 d之久。7月31日,发生融雪(冰)型洪水造成策勒县315国道线K2316+292处的奇勒克亚桥被洪水冲毁,交通中断;8月2日,温宿县黄羊滩段防洪堤发生长达120 m左右溃口,同日塔什库尔干县塔合曼乡白尕吾勒村突发融雪泥石流滑坡地质灾害。

2.2.2 *伊朗副高东扩型*　此型以南疆夏季为例。100 hPa南亚高压呈单体型,伊朗高压及北侧脊线东移向北发展,高压中心加强,青藏高原西部至新疆上空形成强大的高压单体,中心1688～1696 dagpm;500 hPa东欧至乌拉尔山和贝加尔湖附近通常为低槽区,伊朗副高向东北方向扩展控制新疆,588 dagpm线东界可扩至100°E附近、北界北挺至45°～50°N,新疆出现588 dagpm左右高中心,850 hPa温度升至28 ℃左右。2015年7月下旬前期升温融雪(冰)型洪水环流型属伊朗副高东扩型,500 hPa伊朗高压东移并控制新疆[20],584 dagpm线覆盖新疆大部,588 dagpm控制南疆,南疆盆地出现592 dagpm闭合高压中心(图7a,7c);850 hPa高温中心强度在32 ℃以上(图7b,7d),7月25日融雪(冰)型洪水导致南疆铁路多处中断,交通停运。

2.2.3 *新疆脊发展型*　此型以北疆春季为例。100 hPa南亚高压带位于青藏高原西侧,高压带及北侧脊线北挺,高压中心加强,在青藏高原西部上空形成高压单体,中心可达1668 dagpm以上。500 hPa上,欧洲、里海和咸海与贝加尔湖以西通常为低值区,青藏高原为高压脊控制,新疆西部受浅高压脊控制,随新疆西部脊东移,青藏高原高压脊东移向北发展,与新疆原有脊叠加形成新的较强新疆脊,脊顶顺转形成南北向高压带,脊线一般在80°～95°E,556 dagpm线可控制全疆,552 dagpm脊顶跨越60°N



注:D和G表示位势高度低中心和高中心;N和L表示暖中心和冷中心红;·表示乌鲁木齐。下同。

图6　2015年7月31日08:00 UTC(a,b)和8月1日08:00 UTC(c,d)高空环流形势

Fig. 6　The high-altitude circulation situation at 08:00 on July 31, 2015(a, b) and 08:00 on August 1, 2015 (c, d)

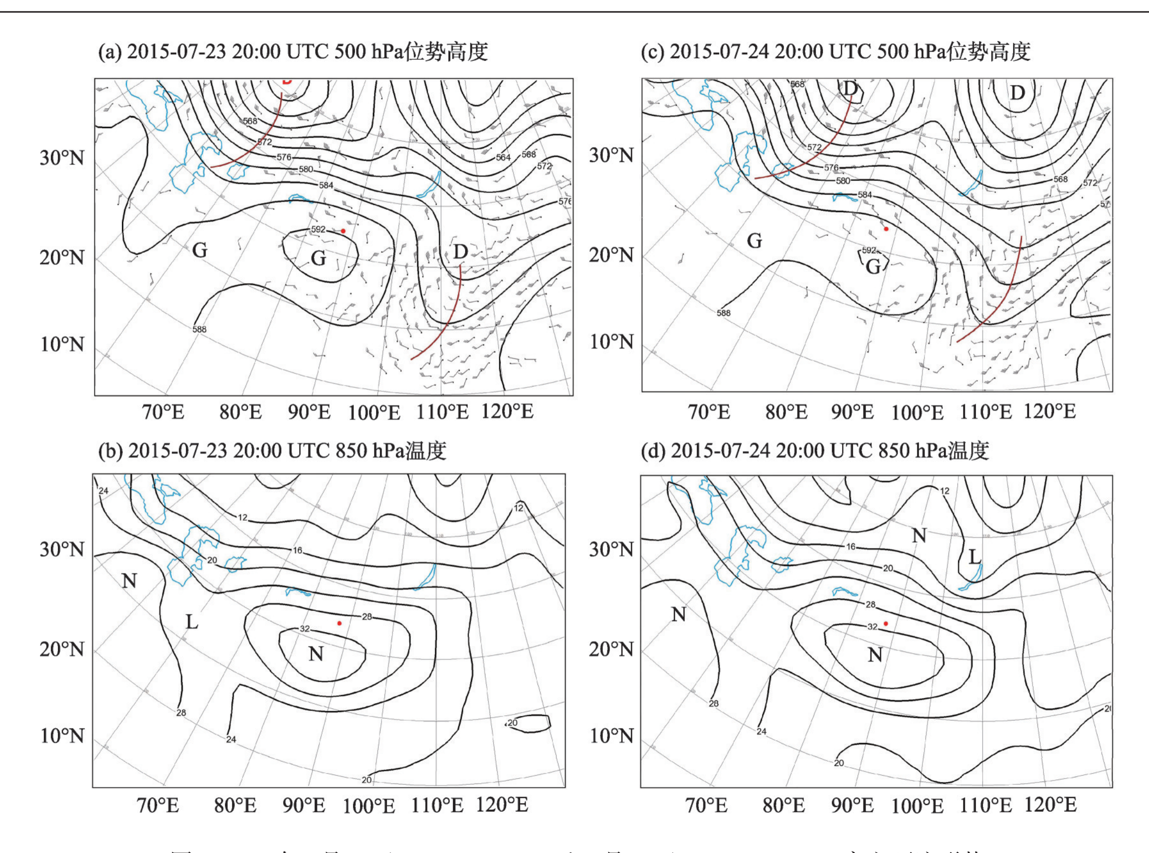


图7 2015年7月23日20:00 UTC(a,b)和7月24日20:00 UTC(c,d)高空环流形势

Fig. 7 The high-altitude circulation situation at 20:00 on July 23, 2015(a, b) and 20:00 on July 24, 2015(c, d)

以北,850 hPa温度北疆可升至8 ℃左右,极易造成北疆发生融雪(冰)型洪水。2014年3月中旬北疆持续升温,南亚高压中心可达1668 dagpm;560 dagpm线控制全疆,556 dagpm脊顶跨越60°N以北(图8a,8c);850 hPa北疆温度升至8~12 ℃(图8b,8d),受强升温影响,北疆出现大范围融雪洪灾,3月17至18日,伊犁州、塔城地区和乌鲁木齐近300户、1000多人村民受灾,低洼处积水最深处约40 cm,部分乡镇渠道堵塞,洪水倒灌,淹了部分民房及院落,农作物受灾面积500 hm^2,经济损失454×10^4元。

伊朗副高东扩型、西太副高西伸型和新疆脊发展型三类环流型是新疆融雪(冰)型洪水的主要大气环流类型,从高低空天气系统空间配置来看,三类环流型高压脊均为深厚天气系统,100~700 hPa新疆受高压脊控制,100 hPa南亚高压为单体脊,高压单体在新疆至青藏高原上空,深厚高压系统的强度、位置和持续时间决定融雪(冰)型洪水的强弱、落区及时间。一般情况下,西太副高西伸型环流形势常出现在盛夏,伊朗副高东扩型和新疆脊发展型夏半年均出现,伊朗副高东扩型可造成全疆性升温且南疆中低层升温更显著,此型造成的融雪(冰)型洪水往往强度更强,新疆高压脊位置偏北时常造成北疆融雪(冰)型洪水,且在春季较多。总之,控制新疆的高压脊中心越强、脊顶越偏北,融雪(冰)型洪灾越强、影响范围越偏北,融雪(冰)型洪水出现时,850 hPa温度在夏季、春季可升至28 ℃和8 ℃以上。

2.3 高空0 ℃层高度及前期降水

0 ℃层高度及前期降水对春季融雪型和夏季融雪(冰)型洪水有直接影响,选取2015年7月和2014年3月两次典型个例,分析0 ℃层高度和前期降水变化特征。

2.3.1 高空0 ℃层高度明显偏高 2015年7月中下旬全疆罕见高温引发多地融雪(冰)型洪水,2015年7月高空0 ℃层高度位居1991年以来同期第1位[20],从阿克苏7月0 ℃层高度逐年变化和2015年7月与历年同期0 ℃层高度逐日对比可看出(图9),近20 a阿克苏2015年7月0 ℃层高度最高,月平均5106.2 m,较历年同期均值偏高381.2 m(图9a),逐日0 ℃层高度变化(图9b)中,7月16—31日连续16 d均在5000 m以上,24日达5472.1 m,7月下旬21—31日较历年值平均偏高610.3 m。

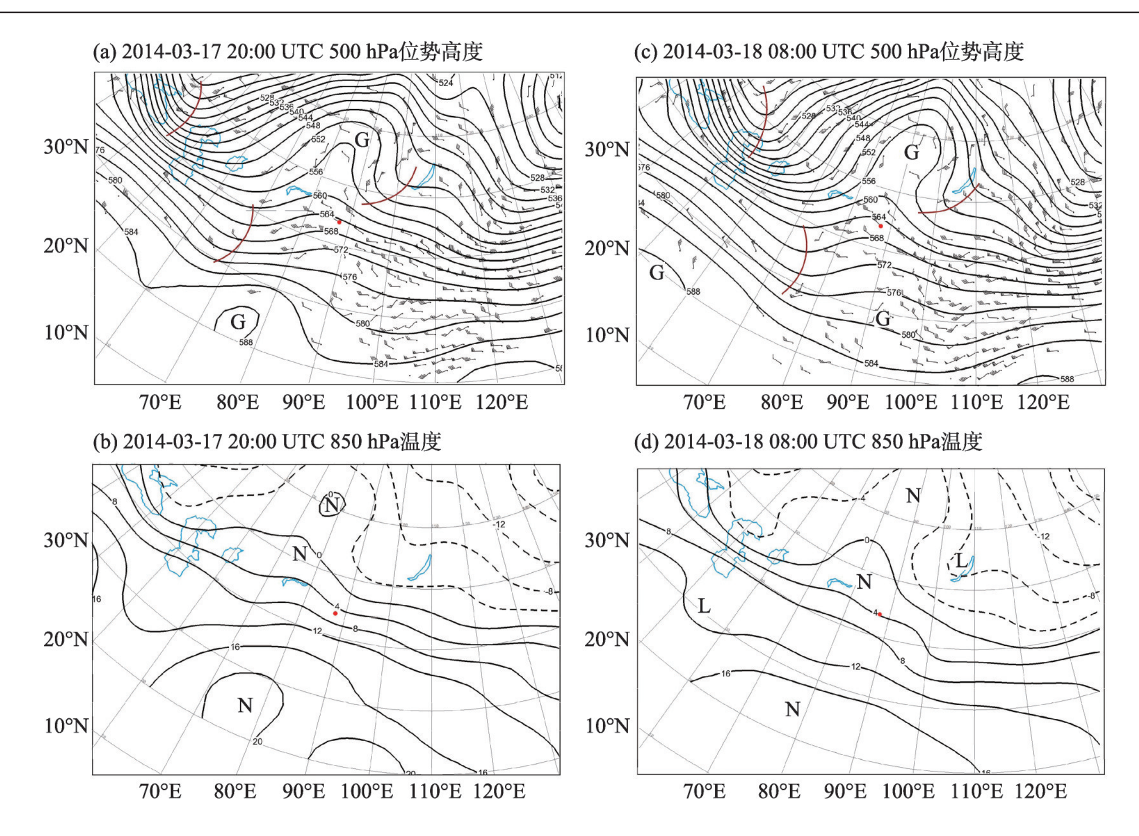


图8　2014年3月17日20:00 UTC(a,b)和3月18日08:00 UTC(c, d)高空环流形势

Fig. 8　The high-altitude circulation situation at 20:00 on March 17, 2014(a, b) and 08:00 on March18, 2014(c, d)

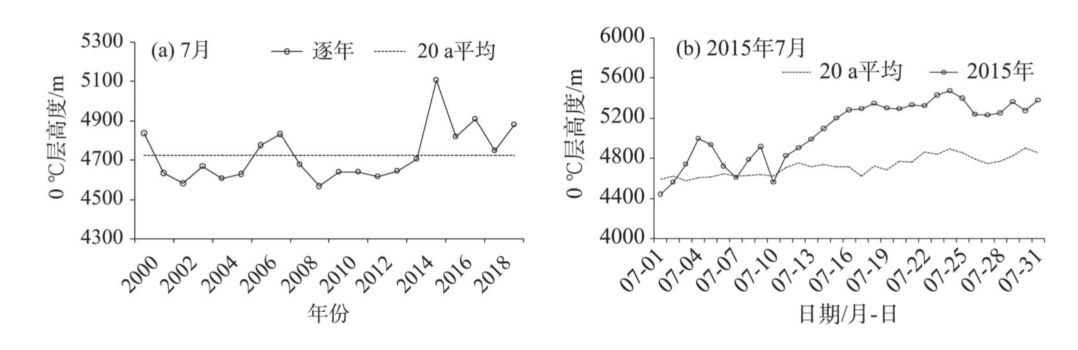


图9　阿克苏2000—2019年7月0 ℃层高度逐年变化(a)和2015年7月与历年同期0 ℃层高度逐日对比(b)

Fig. 9　Inter-annual change of the 0 ℃ layer height in July during 2000−2019 (a) and the day-to-day comparison of 0 ℃ layer height between July 2015 and the same period in previous years (b) in Aksu

2014年3月12—24日,伊犁州、博州、塔城南部、阿勒泰西部、乌鲁木齐市先后出现升温融雪(冰)型洪水,分析伊宁3月0 ℃层高度逐年变化和2014年3月与历年同期0 ℃层高度逐日对比可看出(图10),近20 a伊宁2014年3月0 ℃层高度最高,有9 d维持在3000 m以上,3月中旬0 ℃层高度2902.6 m,较历年同期偏高818.4 m,3月17日高达3528 m。

2.3.2　前期降水偏多　分析2014年3月和2015年7月两次典型融雪(冰)型洪水出现前的降水情况,2014年3月融雪(冰)型洪水发生前,1—2月北疆共出现7次雪灾,1月和2月北疆降水明显偏多,偏多幅度与历史同期相比,霍尔果斯位居第一位,福海、托里位居第三位,北疆最大积雪深度偏厚,霍尔果斯、霍城、炮台、石河子、乌兰乌苏、伊宁市、伊宁县及乌鲁木齐偏厚22～32 cm;2015年7月全疆融雪(冰)型洪水出现前,6月全疆降水明显偏多,天山山区偏多3倍以上,偏多幅度与历史同期相比,北疆伊宁县、巩留、吉木萨尔、木垒居第1位,青河、尼勒克居第3位,南疆喀什地区居历史第2位,乌什县居历史第3位。

融雪型洪水发生前,高空0 ℃层高度明显偏高、降水明显偏多,典型年份0 ℃层高度较历年同期可偏高600 m以上、山区局地降水偏多3倍左右,山区

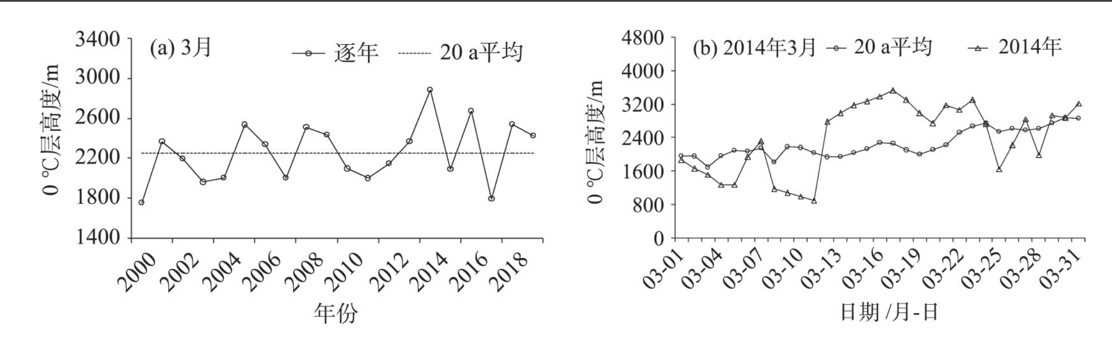


图10 伊宁2000—2019年3月0 ℃层高度逐年变化(a)和2014年3月与历年同期0 ℃层高度逐日对比(b)

Fig. 10 Inter-annual change of the 0 ℃ layer height in March during 2000−2019(a) and the day-to-day comparison of 0 ℃ layer height between March 2014 and the same period in previous years (b) in Yining

积雪明显偏厚,降水偏多出现在融雪(冰)型洪水发生前的1~2个月。

3 结 论

通过分析新疆融雪(冰)型洪水灾害频次变化规律,给出新疆近20 a融雪(冰)型洪水频次的时空分布特点,归纳造成新疆升温融雪(冰)型洪水的大气环流形势及演变特征,简要叙述0 ℃层高度和前期降水对升温造成的融雪(冰)型洪水的影响,具体结论如下:

(1) 全疆共出现215次融雪(冰)型洪水,年均频次约11次·a^{-1};北疆融雪(冰)型洪水明显多于南疆,占全疆75%以上(163次),融雪(冰)型洪水年均频次北疆和南疆分别为8次·a^{-1}和3次·a^{-1},北疆和南疆后10 a均较前10 a增多,增幅30%左右,3—5月明显增多。

(2) 南北疆升温融雪(冰)型洪水的时空分布差异明显,北疆均为融雪型洪水,主要出现在春季,3月最多,集中分布在北疆的西部、北部区域(伊犁州新源县最多);在南疆融雪和融冰型洪水均会出现,主要出现在夏季,7月最多(和田地区和田市最多)。需重点关注和防范北疆3月由于升温导致的融雪型洪水(尤其是伊犁州)、南疆夏季7月昆仑山北部冰湖溃决型洪水和冰川融水型两类融雪(冰)型洪水的发生。

(3) 伊朗副高东扩型、西太副高西伸型和新疆脊发展型是新疆融雪(冰)型洪水的3类大气环流分型,100 hPa南亚高压呈单体型,100~700 hPa从高层至低层新疆均受高压脊控制,为深厚高压系统。新疆高压脊越强,脊顶越偏北,升温融雪(冰)型洪灾越重、影响范围越偏北。融雪(冰)型洪水发生前,850 hPa温度春季可升至8 ℃以上、夏季可升至28 ℃以上。

(4) 融雪型洪水中发生前,高空0 ℃层高度明显偏高、降水明显偏多,典型年份0 ℃层高度偏高600 m以上,融雪(冰)型洪水发生前1~2个月局地降水偏多3倍左右,山区积雪明显偏厚、面积偏大。

参考文献(References):

[1] 希爽, 张志富. 中国近50 a积雪变化时空特征[J]. 干旱气象, 2013, 31(3): 451−456, 470. [Xi Shuang, Zhang Zhifu. Spatial and temporal analysis of snow cover in China in recent 50 years[J]. Journal of Arid Meteorology, 2013, 31(3): 451−456, 470.]

[2] 董玉文, 胡江, 杨胜发. 新疆洪水成因及特性分析[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2004, 23(2): 118−122. [Dong Yuwen, Hu Jiang, Yang Shengfa. Genesis and characteristic analysis of flood in Xinjiang province[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University(Natural Science), 2004, 23(2): 118−122.]

[3] 王秋香, 张春良, 刘静, 等. 北疆积雪深度和积雪日数的变化趋势[J]. 气候变化研究进展, 2009, 5(1): 39−43. [Wang Qiuxiang, Zhang Chunliang, Liu Jing, et al. The changing tendency on the depth and days of snow cover in northern Xinjiang[J]. Climate Change Research, 2009, 5(1): 39−43.]

[4] 庄晓翠, 郭城, 赵正波, 等. 新疆阿勒泰地区积雪变化分析[J]. 干旱气象, 2010, 28(2): 190−197. [Zhuang Xiaocui, Guo Cheng, Zhao Zhengbo, et al. Snow cover variation analysis in Altay Area of Xinjiang[J]. Journal of Arid Meteorology, 2010, 28(2): 190−197.]

[5] 商莉, 黄玉英, 毛炜峄. 2015年夏季南疆地区高温冰雪洪水特征[J]. 冰川冻土, 2016, 38(2): 480−487. [Shang Li, Huang Yuying, Mao Weiyi. Features of the snow and ice melt water flood caused by high temperature in the southern Xinjiang Region during the summer of 2015[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2016, 38(2): 480−487.]

[6] 姜逢清, 魏文寿, 刘明哲. 天山巩乃斯河流域季节积雪化学成分

特征与时空变化分析[J]. 冰川冻土, 1998, 20(1): 74-78. [Jiang Fengqing, Wei Wenshou, Liu Mingzhe. A snow chemical survey in the middle and upper reaches of the Kunnes River, Xinjiang, China[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1998, 20(1): 74-78.]

[7] 陆智, 刘志辉, 闫彦. 新疆融雪(冰)洪水特征分析及防洪措施研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(6): 256-261. [Lu Zhi, Liu Zhihui, Run Yan. Features of snowmelt flood and control measures in Xinjiang[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2007, 14(6): 256-261.]

[8] 王志杰, 迪里木拉提, 李从林. 天山北麓低山丘陵地区春季融雪(冰)洪水的研究——以三工河古河道为例[J]. 干旱区地理, 2002, 25(4): 302-308. [Wang Zhijie, Dilimulati, Li Conglin. Study on the spring flood caused by snowmelt water in low-mountain and hill regions of northern piedmont of the Tianshan mountains: A case study of the in the paleo channels of Sangong River[J]. Arid Land Geography, 2002, 25(4): 302-308.]

[9] 隗经斌. 新疆军塘湖河典型融雪(冰)洪水过程研究[J]. 冰川冻土, 2006, 28(4): 530-534. [Kui Jingbin. Snowmelt floods of the Juntanghu River in Xinjiang region[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2006, 28(4): 530-534.]

[10] 恭原. 昆马力克河洪水规律及成因初探[M]. 乌鲁木齐: 新疆大学出版社, 1997: 25. [Gong Yuan. A Preliminary Study on the Flood Law and Cause of Kunmalike River[M]. Urumqi: Xinjiang University Press, 1997: 25.]

[11] 由希尧, 章曙明. 新疆叶尔羌河"溃坝型"洪水初步研究[J]. 水文, 1990, 35(2): 25-31. [You Xiyao, Zhang Shuming. Preliminary study on the "dam-breaking" flood in the Yerqiang River in Xinjiang[J]. Journal of China Hydrology, 1990, 35(2): 25-31.]

[12] 张俊岚, 毛炜峄, 王金民, 等. 渭干河流域暴雨融雪型洪水预报服务新技术研究[J]. 气象, 2004, 30(3): 48-51. [Zhang Junlan, Mao Weiyi, Wang Jinmin, et al. A new technique of forecast and service of heavy rain fall and snow-melted flood in Weigan River Area[J]. Meteorological Monthly, 2004, 30(3): 48-51.]

[13] 阿不力米提江·阿布力克木, 陈春艳, 玉素甫·阿不都拉, 等. 2001—2012年新疆融雪型洪水时空分布特征[J]. 冰川冻土, 2015, 37(1): 226-232. [Ablimitjan Ablikim, Chen Chunyan, Yusup Abdula, et al. The temporal and spatial distribution features of snowmelt flood events in Xinjiang from 2001 to 2012 [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2015, 37(1): 226-232.]

[14] 毛炜峄, 玉素甫·阿布都拉, 程鹏, 等. 1999年夏季中昆仑山北坡诸河冰雪大洪水及其成因分析[J]. 冰川冻土, 2007, 29(4): 553-558. [Mao Weiyi, Yusup Abdula, Cheng Peng, et al. Extreme flood events in 1999 and their formation conditions in northern slopes of the middle Kunlun Mountains[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2007, 29(4): 553-558.]

[15] 陈颖, 邵伟玲, 曹萌, 等. 新疆夏季高温日数的变化特征及其影响因子[J]. 干旱区研究, 2020, 37(1): 58-66. [Chen Ying, Shao Weiling, Cao Meng, et al. Variation of summer high temperature days and its affecting factors in Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2020, 37(1): 58-66.]

[16] 毛炜峄, 张旭, 杨志华, 等. 卫星遥感首次监测到准噶尔盆地西北部的冬季融雪(冰)洪水[J]. 冰川冻土, 2010, 32(1): 211-214. [Mao Weiyi, Zhang Xu, Yang Zhihua, et al. Winter snowmelt flood in the Northwest of Jungger Basin first monitored by satellite remote sensing[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2010, 32 (1): 211-214.]

[17] 章曙明, 王志杰, 尤平达, 等. 新疆地表水资源研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008. [Zhang Shuming, Wang Zhijie, You Pingda, et al. Study on Surface Water Resources in Xinjiang[M]. Beijing: China Water Power Press, 2008.]

[18] 沈永平, 苏宏超, 王国亚, 等. 新疆冰川、积雪对气候变化的响应(I): 水文效应[J]. 冰川冻土, 2013, 35(3): 513-527. [Shen Yongping, Su Hongchao, Wang Guoya, et al. The responses of glaciers and snow cover to climate change in Xinjiang(I): Hydrological effects[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2013, 35(3): 513-527.]

[19] 毛炜峄, 姚俊强, 陈静, 等. 1961—2017年东帕米尔高原极端升温过程气候变化特征[J]. 干旱区研究, 2019, 36(6): 1368-1378. [Mao Weiyi, Yao Junqiang, Chen Jing, et al. Chang characteristics of extreme temperature-rising process in the east pamirs during 1961-2017[J]. Arid Zone Research, 2019, 36(6): 1368-1378.]

[20] 毛炜峄, 陈鹏翔, 沈永平. 气候变暖背景下2015年夏季新疆极端高温过程及其影响[J]. 冰川冻土, 2016, 38(2): 291-304. [Mao Weiyi, Chen Pengxiang, Shen Yongping. Characteristics and effects of the extreme maximum air temperature in the summer of 2015 in Xinjiang under global warming[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2016, 38(2): 291-304.]

Combined analysis of the spatiotemporal variations in snowmelt (ice) flood frequency in Xinjiang over 20 years and atmospheric circulation patterns

ZHANG Junlan[1], LUO Ji[2], WANG Rongmei[3]

(1. Meteorological Observatory of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830002, Xinjiang, China; 2. Aksu Regional Meteorological Bureau, Aksu 843000, Xinjiang, China; 3. Weather Modification Office of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830002, Xinjiang, China)

Abstract: Using 20 years of data (2000−2019) on snowmelt (ice) flood disasters in Xinjiang, the temporal and spatial distribution and difference characteristics of snowmelt (ice) flood frequency were analyzed over various time scales in northern and southern Xinjiang. Clear temporal and spatial distributions as well as regional differences in snowmelt (ice) flood frequency were observed in northern and southern Xinjiang, with the snowmelt flood frequency in northern Xinjiang (163 times) accounting for >75% of the total frequency. The main snowmelt flood season in northern Xinjiang was in spring (March), whereas that in southern Xinjiang was in summer (July); in Yili Prefecture, the main snowmelt flood season was in winter. In the past 20 years, the frequency of snowmelt flooding in spring has increased in northern and southern Xinjiang, with the frequency of snowmelt flooding in the last 10 years increasing by 30% compared with that in the first 10 years. The synoptic types of snowmelt (ice)- type floods in Xinjiang were revealed from the perspective of synoptic science. the eastward expansion of the Iran subtropical high, the westward extension of the West Pacific subtropical high, and the development of the Xinjiang ridge, are provided here. We conclude that the 100−700 hPa Xinjiang high ridge is a deep synoptic system, whereas the 100 hPa South Asia high is a haplotype. Before the occurrence of snowmelt flooding, the height of the 0 °C layer is obviously higher and the precipitation in mountainous areas is obviously increased. Northern Xinjiang should focus on the prevention of seasonal snowmelt floods in the middle and low mountain regions, such as in Ili Prefecture, in spring, whereas southern Xinjiang should closely monitor two types of snowmelt (ice) floods in summer, i.e., high mountain ice lake break types and snow and glacier melt types.

Keywords: snowmelt (ice) flood; atmospheric circulation types; spatial-temporal distribution; Xinjiang